

การกระจายตัวและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในดินรอบบริเวณโรงงานเยื่อกระดาษ

นายเศรษฐพล บุญชู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISTRIBUTIONS AND CONCENTRATIONS OF POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS, (PAHs) IN SOIL AROUND PULP MILL

Mr. Serahsattapon Bhunyachu

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511741

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกระจายตัวและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในดินรอบ
บริเวณโรงงานเยื่อกระดาษ

โดย

นายเศรษฐพล บุญชู

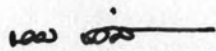
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

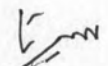
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

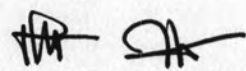

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.นุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รเชศ ศรีสถิตย์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนัสกร ราชอาณาจักรกิจ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)

เศรษฐพล บุญชู : การกระจายตัวและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในดินรอบบริเวณ
โรงงานเยื่อกระดาษ. (DISTRIBUTIONS AND CONCENTRATIONS OF POLYCYCLIC
AROMATIC HYDROCARBONS (PAHs) IN SOIL AROUND PULP MILL)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล 132 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในตัวอย่างดิน
จากพื้นที่ศึกษา 6 แห่ง ที่อยู่รอบโรงงานเยื่อกระดาษแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยทำ
การเก็บตัวอย่างดิน 3 ระดับ คือระดับผิวหน้า (0-20 เซนติเมตร) ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร
และระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร เก็บตัวอย่าง 2 ครั้งคือในเดือนพฤษภาคมและตุลาคม 2551
เพื่อเป็นตัวแทนในฤดูแล้งและฤดูฝน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างพบสารพีเอเอชรวมใน
ระดับความเข้มข้น 39.9-91.3 นาโนกรัมต่อกรัมในฤดูฝนและ 111.7-261.8 นาโนกรัมต่อกรัมในฤดู
แล้ง ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นรวมในฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 55.6 ± 18.9 และ 156.4 ± 61.5
นาโนกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอชในดินตามระดับความลึกทั้ง
3 ระดับ ไม่แสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างสารพีเอเอชและระดับความลึกและยังไม่สามารถ
อธิบายการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนรูปของสารพีเอเอชจากดินผิวน้ำลงสู่ดินชั้นล่างได้อย่าง
ชัดเจนในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม ระดับการปนเปื้อนของสารพีเอเอชในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่
ใหญ่อยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษ (<200 นาโนกรัมต่อกรัม) มีบางพื้นที่ที่พบอยู่ในระดับปานกลาง
(200-600 นาโนกรัมต่อกรัม) การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดสารพีเอเอชที่ปนเปื้อน
ในพื้นที่ศึกษานี้ พบว่าในตัวอย่างดินเกือบทั้งหมดพบสารพีเอเอชในกลุ่มที่มีจำนวนวงอะโรมาติก
ในโครงสร้างโมเลกุล 4-6 วง เป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 50 ของสารพีเอเอชทั้งหมด (16 ชนิด) ซึ่ง
อาจบ่งชี้ได้ว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณา
จากอัตราส่วน Benzo(a)anthracene/(Benzo(a)anthracene+Chrysene) และอัตราส่วน
Fluoranthene/(Fluoranthene+Pyrene) พบว่าแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชเป็นไปได้อย่างมีที่มา
ทั้งจากการเผาไหม้และปนเปื้อนสารปิโตรเลียม โดยมีแนวโน้มค่อนข้างไปทางการเผาไหม้

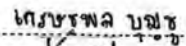

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	ลายมือชื่อนิติ..... เศรษฐพล บุญชู
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 
ปีการศึกษา 2551.....	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

4870623321: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON, PAHs / PULP MILL / SOIL

SERAHSATTAPON BHUNYACHU: DISTRIBUTIONS AND CONCENTRATIONS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS, (PAHs) IN SOIL AROUND PULP MILL). ADVISOR: ASST.PROF.SIRIMA PANYAMRTHEEKUL, Ph.D., 132 pp.

Soil samples were collected at six sampling sites around pulp mill of Ayuddhya, Thailand, at 0-10 20-40 and 40-60 cm. soil depth in May and October 2008, and concentrations and distributions of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were determined. The total of 16 PAHs concentrations in surface soil ranged between 39.9-91.3 ng/g (rainy) and 111.7-261.8 ng/g (in summer) respectively. Mean total concentration of 16 PAHs are 55.6+18.9 ng/g (rainy) and 156.4+61.5 ng/g (summer). There was no significant correlation between the total of 16 PAHs concentration and depth of soil and the distribution and transformation of PAHs in surface soil to depth soil was not clear. However, the level of contamination of PAHs in most study area is non-toxic (<200 ng/g) but have some study area is a moderate toxicity (200-600 ng/g). Relative concentrations of PAH compounds with different benzene rings and ratios of fluoranthene to fluoranthene plus pyrene and benzo(a)anthracene to benzo(a)anthracene plus chrysene and fluoranthene to fluoranthene plus pyrene were used to identify the possible sources of soil PAHs. 50 % of total 16 PAHs found in all most study area are 4-6 ring PAHs group may indicate that the PAHs pollutants probably mainly originated from both the combustion and petroleum, However It's tend to be combustion source

Department : <u>Environmental Engineering</u>	Student's Signature <u></u>
Field of Study : <u>Environmental Engineering</u>	Advisor's Signature <u></u>
Academic Year : <u>2008</u>	Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ล่วงลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาให้คำแนะนำ และปรึกษาเอาใจใส่ตลอดมา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสีย อันตราย รศ.ดร.สุธาชาวเธียรและผศ.ดร.มนัสกร ราชากรกิจ ที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือแก๊สโครมาโตกราฟและเครื่องไมโครเวฟสำหรับสกัดสาร ขอขอบคุณ ดร.อรมาศ สุทธิบูรณ์ คุณวลีพร ศรีเพ็ญประภา รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ เจ้าหน้าที่ทุกท่านในห้องปฏิบัติการ ของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้คอยให้ความช่วยเหลือแนะนำในการใช้เครื่องมือและเป็นกำลังใจ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอกราบขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้เงินทุนอุดหนุนในการศึกษาวิจัยนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณและซาบซึ้งใจของเพื่อนๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนงานสำเร็จมาได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ให้ความรักและกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา.....	6
2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต.....	6
2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	7
2.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ.....	8
2.1.4 ปฐพีวิทยา.....	8
2.1.5 กระแสลม.....	9
2.1.6 ประชากร.....	9
2.1.7 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา.....	9
2.2 ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา.....	11
2.2.1 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา.....	13
2.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	13
2.3.1 โครงสร้างโมเลกุลและสมบัติทางเคมีของสารพีเอเอช.....	14
2.3.2 ความเป็นพิษและการเป็นสารก่อมะเร็งของสารพีเอเอช.....	17

2.3.3 แหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม.....	20
2.3.4 การกระจายตัวของสารพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม.....	21
2.3.5 การกระจายตัวและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในดิน....	22
2.3.6 การเปลี่ยนแปลงของสารพีเอเอชในสิ่งแวดล้อม.....	25
2.3.7 การเปลี่ยนรูปและการแตกสลายของสารพีเอเอชในดิน....	27
2.4 การใช้อัตราส่วนของสารพีเอเอชในการประมาณถึงแหล่งกำเนิดที่เป็นไปได้....	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารพีเอเอช.....	31
3. วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการเก็บตัวอย่างดิน.....	35
3.1.1 รายละเอียดของพื้นที่เก็บตัวอย่างดิน.....	36
3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างดิน.....	39
3.3 การเก็บตัวอย่างดิน.....	39
3.4 การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการวิเคราะห์.....	40
3.5 อุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการสกัดสารพีเอเอชด้วยเครื่องไมโครเวฟ.....	40
3.5.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	40
3.5.2 การสกัดสารพีเอเอชด้วยเครื่องไมโครเวฟ.....	41
3.6 การกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากสารละลายที่สกัดได้ด้วยเทคนิค SPE.....	43
3.7 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในดินด้วยเครื่อง GC-FID.....	43
3.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารพีเอเอช.....	44
3.7.2 การคำนวณความเข้มข้นของสารพีเอเอชในตัวอย่างดิน...	44
3.7.3 การวิเคราะห์ชนิดของสารพีเอเอชในตัวอย่างดิน.....	44
3.7.4 การคำนวณร้อยละในการคืนกลับของวิธีการวิเคราะห์....	44
3.7.5 การคำนวณขีดจำกัดในการตรวจวัด.....	45
3.7.6 การคำนวณอัตราส่วนของสารพีเอเอช.....	45
4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษา.....	47
4.1 ผลการศึกษาในเบื้องต้น.....	47
4.1.1 การหาสภาวะที่ในการวิเคราะห์สารพีเอเอช.....	47
4.1.2 การหาเวลาที่ปรากฏ (Retention time) ของสารพีเอเอช..	47
4.1.3 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารพีเอเอช	49
4.1.4 การหาขีดจำกัดของการตรวจวัด.....	50
4.1.5 การทดสอบวิธีการสกัดสารพีเอเอชด้วยเครื่องไมโครเวฟ	51

4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร	54
4.3 การพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร	57
4.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร	61
4.4.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	61
4.4.2 การพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	64
4.5 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร	67
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร.....	67
4.5.2 การพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดของสารฟิเอเอชในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร.....	70
4.6 การกระจายตัวตามระดับความลึกของสารฟิเอเอช.....	72
4.7 การกระจายตัวตามระดับความลึกของสารฟิเอเอชตามกลุ่มของจำนวนวงอะโรมาติกในโครงสร้างโมเลกุล.....	76
4.8 สมบัติทั่วไปทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างดิน.....	82
4.8.1.สมบัติทั่วไปทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างดิน.....	82
5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	95
ก. แผนที่กลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา.....	96
ข. มังลมประจำถิ่นของอำเภอบางไทรจากสถานีตรวจอากาศสุพรรณบุรีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524-2534.....	97
ค. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ-เคมีของตัวอย่างดิน.....	99
ง. กราฟมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ (R^2) ของสารละลายมาตรฐานฟิเอเอช 16 ชนิด.....	104
จ. ความเข้มข้นของสารฟิเอเอช 16 ในตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษา.....	108
ฉ. อัตราส่วนของสารฟิเอเอชในพื้นที่ศึกษา.....	129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	132

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	โรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆในอำเภอบางไทร.....	10
2.2	จำนวนและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา.....	13
2.3	สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารพีเอเอช 16 ชนิด.....	16
2.4	ลักษณะและชนิดของสารพีเอเอช 16 ชนิดโดย IARC.....	17
2.5	ผลกระทบของสารพีเอเอชที่มีต่อสิ่งมีชีวิตจากการทดลอง.....	18
2.6	ปริมาณที่บริโภคเข้าสู่ร่างกายโดยไม่ก่อให้เกิดโทษของสารพีเอเอช 6 ชนิด.....	19
2.7	ความสามารถในการเกิดมะเร็งโดย ของสารพีเอเอช 7 ชนิด.....	19
2.8	ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิดในดินประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศอื่น...	24
2.9	มาตรฐานของสารพีเอเอช 16 ชนิดในดินของบางประเทศ.....	25
2.10	กลุ่มของสารพีเอเอช 16 ชนิดตามน้ำหนักมวลโมเลกุล.....	26
2.11	อัตราส่วนของสารพีเอเอชจากรายงานการศึกษาต่างๆ.....	29
2.12	การใช้อัตราส่วนของ Ind / (Ind+BGP) ในการบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิด.....	30
3.1	การโปรแกรมสถานะการทำงานของเครื่องไมโครเวฟ.....	42
3.3	วิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนจากสารละลายที่สกัดได้ด้วยเทคนิค SPE.....	43
3.4	องค์ประกอบของดินที่วิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์.....	45
4.1	ผลการทดลองแยกสารละลายมาตรฐานพีเอเอช 16 ชนิดด้วยเครื่อง GC/FID.....	49
4.2	สมการเส้นตรงและสัมประสิทธิ์เส้นตรงในกราฟมาตรฐานของสารพีเอเอช 16 ชนิด	50
4.3	ขีดจำกัดในการตรวจวัดของวิธีการวิเคราะห์สารพีเอเอชด้วยเครื่อง GC-FID.....	51
4.4	ร้อยละในการคืนกลับของวิธีการสกัดสารพีเอเอชในดินด้วยเครื่องไมโครเวฟ.....	54
4.5	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร.....	88
4.6	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	83
4.7	สมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่ความลึก 40-60เซนติเมตร.....	83
1๑	ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่บ้านน้ำมนต์.....	108
2๑	ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดศิริสุขาราม....	109
3๑	ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดสุนทราราม....	110
4๑	ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดกระแซง.....	111
5๑	ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดขุนจำธรรมมาราม	112

6๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร พื้นที่ศึกษา ร.ร.วัดอนุญชาราม	113
7๑	ความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสารฟิเอเอชแต่ละชนิดในดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร.....	114
8๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่บ้านน้ำมนต์.....	115
9๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดศิริสุธาราม..	116
10๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดสุนทราราม..	117
11๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดกระแซง.....	118
12๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดขุนจำธรรมมาราม	119
13๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดอนุญชาราม...	120
14๑	ความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสารฟิเอเอชแต่ละชนิดในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	121
15๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่บ้านน้ำมนต์.....	122
16๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดศิริสุธาราม..	123
17๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดสุนทราราม..	124
18๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดกระแซง.....	125
19๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดขุนจำธรรมมาราม	126
20๑	ความเข้มข้นของสารฟิเอเอชที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร พื้นที่ ร.ร.วัดอนุญชาราม....	127
21๑	ความเข้มข้นต่ำสุด-สูงสุด ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสารฟิเอเอชแต่ละชนิดในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร.....	128
1๑	อัตราส่วนของ (BaA/(BaA + CHR)) ในดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร.....	129
2๑	อัตราส่วนของ (FLA/(FLA + PYR)) ในดินที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร	129
3๑	อัตราส่วนของ (BaA/(BaA + CHR)) ในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	130
4๑	อัตราส่วนของ (FLA/(FLA + PYR)) ในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร.....	130
5๑	อัตราส่วนของ (BaA/(BaA + CHR)) ในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร.....	131
6๑	อัตราส่วนของ (FLA/(FLA + PYR)) ในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร.....	131

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ที่ตั้งของอำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.....	7
2.2	ที่ตั้งของโรงงานเยื่อกระดาษในอำเภอบางไทร.....	12
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของสารพีเอเอช 16 ชนิด.....	15
3.1	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินรอบโรงงานเยื่อกระดาษ อ.บางไทร จ.พระนครศรีอยุธยา...	35
3.2	พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน บ้านน้ำมนต์ ต.ห่อหมก.....	36
3.3	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินโรงเรียนวัดศิริสุขาราม ต.ช่างเหล็ก.....	36
3.4	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินโรงเรียนวัดสุนทราราม ต.ห่อหมก.....	37
3.5	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินโรงเรียนวัดขุนจำรรรมมาราม ต.ห่อหมก.....	37
3.6	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินโรงเรียนวัดกระแซง ต.กระแซง.....	38
3.7	พื้นที่เก็บตัวอย่างดินโรงเรียนวัดอนุบุญชาราม ต.ช่างน้อย.....	38
3.8	การเก็บตัวอย่างดินตามเส้นทแยงมุมและเส้นรอบข้าง.....	39
3.9 – (1)	เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึก.....	40
3.9 – (2)	ถุงเก็บรักษาตัวอย่างดิน.....	40
3.10–(1)	เครื่องมือโครเวฟสำหรับสกัดสาร.....	42
3.10–(2)	อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องมือโครเวฟ.....	42
3.10–(3)	การโปรแกรมค่าสภาวะการทำงานของเครื่องมือโครเวฟ.....	42
3.11	ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์สารพีเอเอชในดิน.....	46
4.1	โครมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานพีเอเอช 16 ชนิด.....	47
4.2	ร้อยละในการคืนกลับของวิธีการสกัดสารพีเอเอช 16 ชนิดด้วยเครื่องมือโครเวฟ.	52
4.3 – (1)	ความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูฝน)..	55
4.3 – (2)	ความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง)	55
4.4 – (1)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูฝน)	58
4.4 – (2)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	58
4.5 – (1)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR) และ (FLA/(FLA/PYR)) ที่ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูฝน).....	59
4.5 – (2)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR) และ (FLA/(FLA/PYR)) ที่	

	ความลึก 0-20 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	59
4.6 – (1)	ความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูฝน)	63
4.6 – (2)	ความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	63
4.7 – (1)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันว่าความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูฝน).....	65
4.7 – (2)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันว่าความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	65
4.8 – (1)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR)) และ (FLA/(FLA/PYR)) ในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูฝน).....	66
4.8 – (2)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR)) และ (FLA/(FLA/PYR)) ในดินที่ความลึก 20-40 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	66
4.9 – (1)	ความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูฝน)	69
4.9 – (2)	ค่าความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช 16 ชนิดที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง)	69
4.10–(1)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันว่าความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูฝน).....	71
4.10–(2)	ร้อยละสัดส่วนสารพีเอเอชที่มีวงอะโรมาติกต่างกันว่าความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	71
4.11-(1)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR)) และ (FLA/(FLA/PYR)) ในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูฝน).....	72
4.11-(2)	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน BaA/(BaA + CHR)) และ (FLA/(FLA/PYR)) ในดินที่ความลึก 40-60 เซนติเมตร (ฤดูแล้ง).....	72
4.12 ก-ค	การกระจายตัวตามระดับความลึกของความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช (ฤดูฝน)	74
4.13 ง-ฉ	การกระจายตัวตามระดับความลึกของความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอช (ฤดูแล้ง)	75
4.14 ก-ค	การกระจายตัวตามระดับความลึกของ 2-3 ring PAHs และ 4-6 ring PAHs (ฤดูฝน).....	78
4.14 ง-ฉ	การกระจายตัวตามระดับความลึกของ 2-3 ring PAHs และ 4-6 ring PAHs (ฤดูฝน).....	79
4.15 ก-ค	การกระจายตัวตามระดับความลึกของ 2-3 ring PAHs และ 4-6 ring PAHs (ฤดูแล้ง).....	80

4.15 ง-ฉ	การกระจายตัวตามระดับความลึกของ 2-3 ring PAHs และ 4-6 ring PAHs (ฤดูแล้ง).....	81
4.16	การกระจายตัวของร้อยละอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุในดินที่ 0-20 เซนติเมตร.....	82
4.17 (1)	การกระจายตัวของอินทรีย์คาร์บอนในดินตามระดับความลึกในพื้นที่ศึกษา	84
4.17 (2)	การกระจายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินตามระดับความลึกในพื้นที่ศึกษา.....	84
1ก	แผนทีกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา.....	96
1ข	ผังลมประจำถิ่นของอำเภอบางไทรจากสถานีตรวจอากาศสุพรรณบุรี ตั้งแต่ปี 2524-2534.....	97
1ค	ไดอะแกรมที่ใช้จำแนกชนิดของดินตามขนาดของดิน.....	101
1ง	กราฟมาตรฐานและสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของสารมาตรฐานพีเอช 16 ชนิด	104